不同强度趋近动机积极情绪对基于语义关联性错误记忆的影响及其神经机制

张 环[1,2,3] 秦锡权[2] 刘 雨[2] 林 琳[1,2,3] 吴 捷[1,2,3]

([1]教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院; [2]天津师范大学心理学部;

[3]学生心理发展与学习天津市高校社会科学实验室, 天津 300387)

摘 要 情绪会影响错误记忆。以往研究多关注情绪效价和唤醒度对错误记忆的影响。到目前为止，情绪的动机维度对错误记忆的影响过程和神经机制尚不清楚。本研究采用表情–姿势法诱发被试产生不同强度趋近动机的积极情绪，结合功能性近红外光学脑成像技术(fNIRS)，考察被试在高、中和低三种强度趋近动机积极情绪条件下学习 DRM 词表时大脑皮层氧合血红蛋白浓度的变化以及这种变化对基于语义关联性错误记忆的影响。结果显示，在三种强度趋近动机积极情绪条件下，被试都产生了错误记忆，其中高趋条件下产生了更多的错误记忆。脑成像结果显示，三种条件下个体在左侧额叶、颞叶的部分区域均有显著激活，且在左侧额叶和颞叶，高趋条件下的脑激活水平显著高于中、低趋条件，说明高趋条件会引发特定脑区更大程度的脑激活。相关和回归分析结果表明，高趋条件下，左侧额下回和颞叶的激活水平与错误记忆率呈显著的正相关关系；低趋条件下，左侧颞下回的激活水平与错误记忆呈显著的负相关关系。以上结果说明，不同强度趋近动机积极情绪会影响错误记忆的产生；且趋近动机的强度会影响语义相关脑区激活水平的强度，其中左侧颞下回在不同强度趋近动机积极情绪影响错误记忆的产生过程中出现了分离效应。研究结果为理解不同强度趋近动机积极情绪影响基于语义关联性错误记忆的心理与神经机制提供了重要依据。

关键词 错误记忆，情绪动机性，积极情绪，语义关联性，fNIRS

1 问题提出

记忆是人们对客观信息进行编码、储存和提取的能力。众多研究表明，记忆并不总是真实而准确的，而是经常会出现虚假和错误(Frenda et al., 2011)。错误记忆指的是人们会回忆或再认那些没有出现过的事件，或者对经历过的事件产生错误回忆(Roediger &

收稿日期：2023-08-04
通信作者：吴捷, E-mail: babaluosha@163.com

McDermot, 1995)。DRM(Deese-Roediger-McDemott)范式[2]也叫做集中联想范式(Converging Associate Paradigm)，主要用于研究基于词表的语义关联性而产生的错误记忆(Deese, 1959; Roediger & McDermot, 1995)。关于错误记忆的认知机制，模糊痕迹理论(Fuzzy Trace Theory, FTT)得到了广泛的支持(Bookbinder & Brainerd, 2017; 刘丽婷, 2018)。Brainerd 和 Kingma 在 1985 年提出的模糊痕迹理论认为，个体在记忆时有两种加工方式，即字面痕迹(verbatim trace)加工(刺激的属性、外在信息等)和要义痕迹(gist trace)加工(关系等)。前者处理刺激的具体细节，记忆内容更具体；后者处理要义和关系，记忆内容更笼统。前人研究一致表明，个体在编码阶段对 DRM 词表进行要义痕迹加工是产生错误记忆的关键(Knott et al., 2014; 肖红蕊 等, 2015; 张增修 等, 2017)。

以往研究表明积极情绪会对基于语义关联性的错误记忆产生影响。一方面，多数研究者认为在积极情绪下，错误记忆更容易发生(Bookbinder & Brainerd, 2016; 刘丽婷, 2018; Storbeck & Clore, 2005, 2011; 王晓明 等, 2010)。另一方面，得出这一结论的研究均是从情绪的效价和唤醒度维度出发。然而，情绪亦具有动机性(王春梅, 吕勇, 2016)，且独立于效价和唤醒度(邹吉林 等，2011)。但到目前为止，鲜有研究从动机维度出发考察积极情绪对错误记忆的影响过程与机制。

情绪动机性是指与特定情绪状态有所关联的行为倾向(Gable & Harmon-Jones, 2008)。Gable 和 Harmon-Jones(2010a)提出情绪的动机维度模型(the motivational model of affect)认为，动机性从方向来说，分为趋近和回避动机；从强度来说，又存在强弱之分。前者是指个体想要靠近或远离的行为倾向，后者指个体想要靠近或远离的程度。情绪对认知加工的影响受动机方向和强度的调节。情绪的动机维度理论模型认为，高强度动机会窄化认知加工，低强度动机拓展认知加工(Gable & Harmon-Jones, 2010b)。已经有很多研究者通过研究情绪的动机维度对注意、认知控制和认知灵活性的影响，支持了情绪的动机维度模型(Gable & Harmon-Jones, 2008; 刘芳 等, 2016; 王振宏 等, 2012)。在记忆方面，刘英丽等(2015)考察了积极情绪的动机维度对工作记忆的影响，研究者使用电影诱发出被试不同强度趋近动机的积极情绪，结果表明，动机的方向和强度之综合作用对词语工作记忆的结果产生了影响。具体来说，趋近动机可以促进工作记忆，促进效果随着趋近动机强度的增加而增强；回避动机会阻碍工作记忆，阻碍效果同样与强度相关。此外，关于积极情绪的动机性影响记忆结果的研究还发现，高趋近动机积极情绪会诱发中央-周围记忆效应(Gable & Harmon-Jones,

[2] 典型的 DRM 由一系列词表组成，每个词表中都包含与关键诱饵高度相关的词语。例如，被试学习的一个词表中包含桌子、座位、沙发、凳子等词语，在之后的测试中被试很可能错误地再认或回忆出与学习词表具有语义关联性的关键诱饵(如“椅子”)。

2010c)，即高趋近动机积极情绪条件下个体记忆中央信息的效果更好，而低趋近动机积极情绪条件下个体记忆周围信息的效果更好。高趋近动机使得个体采取整体加工策略，此时个体的判断标准更宽松，关注更具概括性的信息(Förster et al., 2006; Förster & Glomosysr, 2012)。李晓雪(2020)通过研究情绪动机性对场景记忆的影响，发现高趋近动机积极情绪条件下的个体更倾向于记忆事件的要义而非细节，低趋近动机条件下则没有发现该现象。由此，如果说不同强度趋近动机的积极情绪会导致个体发生不同的心理过程，即对要义痕迹加工产生影响，那么可以推测的是，积极情绪的趋近动机强度越强，个体越容易关注信息的整体及与目标中心相关的内容，越容易记忆信息的要义和主旨而非细节，也应该越容易产生错误记忆。

在神经证据方面，前人研究多关注额叶的半球不对称性激活与情绪效价之间的关系，发现积极情绪激活左侧额叶皮层，消极情绪激活右侧额叶皮层(Buss et al., 2003; Balconi et al., 2012; Harmon-Jones, 2007)。而 Schutter 等人(2008)的研究结果与上述结果并不一致，他们发现，额叶的半球不对称性激活与情绪的动机性有关。Poole 和 Gable(2014)的 ERPs 研究结果也显示，左侧额叶的激活与高趋近动机情绪有关，右侧额叶则与高回避动机情绪有关，这也说明了额叶的不对称性激活受到了情绪动机性的调节。此外，另一些研究表明，错误记忆的产生不仅与前额叶的活动有关(Spalding et al., 2015)，还与颞中回、下回和颞极(Binder & Desai, 2011; Chadwick et al., 2016; Cooper & Ritchey, 2020; Zhu et al., 2019)等个体进行语义加工的脑区活动有关。以上研究分别关注了情绪与错误记忆的神经机制，倪召兵等(2021)在前人研究基础上，基于 DRM 范式结合 ERPs 技术考察了不同效价的情绪对错误记忆的影响及其神经机制问题。该研究通过使用不同的音乐分别诱发被试产生积极、中性和消极的情绪，结果显示，在积极情绪条件下，被试更容易产生基于语义关联性的错误记忆，并在前额叶和左侧颞叶皮层出现明显的脑区激活；消极情绪条件下，被试产生的错误记忆最少，并且在前额叶和左侧颞叶的脑区激活程度显著低于积极情绪。该结果表明，在积极情绪条件下，与语义加工相关的脑区活动增强，即个体对语义进行编码和联想，增加了错误记忆的发生概率；消极情绪条件下相关脑区活动减弱，降低了错误记忆的发生概率，这一研究为情绪效价对错误记忆的影响增添了重要的神经层面的证据。但是和前人一样，该研究也没有考虑情绪的动机维度对错误记忆的影响和作用。

综上所述，本研究基于 DRM 范式，采用表情-姿势法(Price & Harmom-Jones, 2010; 崔丽霞 等, 2013; 张玉静, 2020)诱发被试产生不同强度趋近动机的积极情绪，通过记录被试在学习编码阶段左侧额叶和颞叶的大脑激活情况，以及被试在测试阶段的错误记忆结果，来

探讨不同强度趋近动机积极情绪对错误记忆的影响及其神经机制。由于本研究需要被试进行面部表情的改变并配合身体姿势的变化，因此，相较于对运动更加敏感的 fMRI 和 ERPs，fNIRS 对实验过程中的身体运动有着更高的宽容度(Leff et al., 2011)，适用于本研究中个体身体姿态发生变化的情况(Ferrari & Quaresima, 2012)。因此，本研究采用 fNIRS 技术来记录被试在任务阶段大脑皮层血氧浓度的变化量。在前人研究基础上，本研究的总体假设为：不同强度趋近动机的积极情绪会对错误记忆产生不同程度的影响。具体为，相比于中、低趋近动机积极情绪，高趋近动机积极情绪条件下更容易发生错误记忆；同时，相比于中、低趋近动机积极情绪，在高趋近动机积极情绪条件下，被试的左侧额叶、颞叶(中、下回)的激活水平更高，且这些激活水平与错误记忆这一行为结果有关。

2 实验方法

2.1 被试

采用 G*Power 3.1 软件对研究所需样本量进行计算。设置 I 类错误的概率 α为 0.05, 检验效能 Power 为 0.80, 效应量为中等水平 0.25，计算得出研究所需样本量应为 28 人。考虑到脑成像实验存在着剔除数据的可能性，本研究采用方便取样的方法共招募了 31 名在校大学生作为研究被试(年龄范围为 18～25 岁，平均年龄为 19.83 ± 2.05 岁，其中女生 17 人)。所有被试的头围均在 56～60 厘米之间，右利手，视力或矫正视力正常，无色盲、色弱等眼疾，身心健康、无脑部疾病或精神类疾病。由于被试活动以及其他个人因素造成的信号失真和行为数据异常(±3 个标准差以外)，2 名被试的数据被排除在进一步的分析之外。因此本研究的有效数据为 29 人(平均年龄为 19.79 ± 2.01 岁，其中女生 15 人)。所有被试在正式实验开始前均填写了知情同意书，并在实验结束后获得了一定的现金报酬。

2.2 实验设计

本研究采用单因素三水平(不同强度趋近动机的积极情绪：高趋、中趋、低趋)的被试内设计。为了避免出现顺序效应，三个水平按照随机的顺序呈现。因变量为(1)被试对关键诱饵的虚报率，即被试将学习列表中未出现过的关键诱饵再认为学习过词语的数量除以总关键诱饵数(类似研究见 Oliver et al., 2016; 杨妹香 等, 2019)；(2)在不同实验处理下，被试在学习编码阶段氧合血红蛋白(HbO)浓度的相对变化量(见 Hoshi et al., 2001; 白学军 等, 2016)。

2.3 实验材料

实验材料包括学习材料和测验材料。学习材料使用李桐(2015)和刘丽婷(2018)的研究中，

将经典 DRM 范式词表(Stadler et al., 1999)本土化后的词表(详见附录 1)。学习材料包括 30 张词表，每张词表由 15 个描述同一主题的双字词组成，所有双字词均与此词表的关键诱饵之间存在着语义关联(Roediger & McDermott, 1995)。

测验材料共包含 180 个双字词。分为三个组块呈现，每个组块包括 60 个双字词，其中 30 个词语在学习阶段呈现过，分别位于该词语所在的每张词表中的第 1、8、10 的位置；10 个词语为与学习词表语义相关的关键诱饵；其余 20 个词语为无关词，即与学习词表不相关的词语。

2.4 实验程序

本研究基于经典的 DRM 研究范式。在正式实验开始前，增加了一个为时 3 分钟的长休息阶段(作为静息态数据，即基线状态)。在长休息时，要求被试闭上双眼，尽可能放空大脑，放松身心(类似操作见 Lu et al., 2010)。

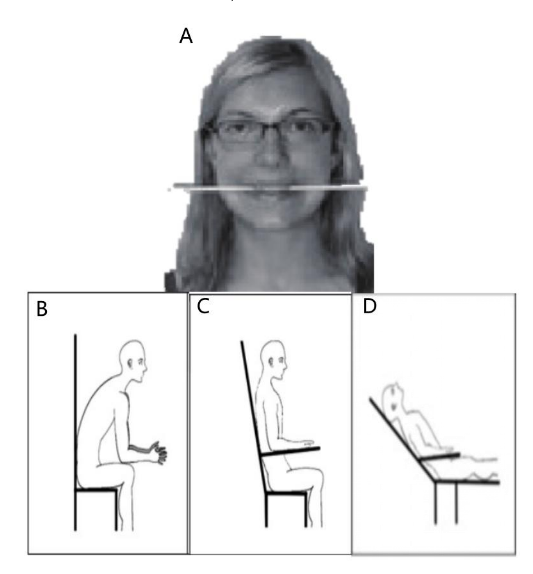


图 1 情绪动机性诱发操作的示意图，其中 A) 积极情绪诱发——微笑表情，B) 高趋近动机积极情绪诱发，C) 中趋近动机积极情绪诱发，D) 低趋近动机积极情绪诱发(注：图片引自 Price & Harmon-Jones, 2011)

在长休息之后，开始正式实验流程。正式实验包括 3 个组块(即 3 种趋近动机强度条件)，每个组块均包括情绪诱发、学习、休息以及再认测试四个阶段。(1)情绪诱发阶段：在该阶段，被试需要根据指导语咬住一次性筷子并做出面部微笑的表情(见图 1A)，待主试确认表情之后，协助被试移动椅子使其双眼始终与屏幕保持 60 厘米左右的距离，并保持平视，随后提醒被试缓慢移动身体调整坐姿，包括高趋(身体前倾并微笑，见图 1B)、中趋(身体直立并微笑, 见图 1C)和低趋(身体后躺并微笑，见图 1D)。不同处理下，被试的面部表情与身体姿势需要保持 1 分钟(类似操作见 Price & Harmon-Jones, 2011)，才能进入接下来的学习阶

段。此外，为了保证持续的情绪诱发，同样的姿势在整个学习阶段需全程保持(类似操作见 Price & Harmon-Jones, 2010; 崔丽霞 等, 2013; 张玉静, 2020)。(2)学习阶段：该阶段一共呈现 10 张词表，每个词表包括 15 个双字词，词表的呈现顺序完全随机，词表内的词语按照与关键诱饵的语义关联强度从强到弱的顺序出现。每个词语呈现 2000 毫秒，间隔时间为 500 毫秒。在新的词表呈现之前，电脑显示器中央会出现注视点"+"并持续 1000 毫秒。(3)休息阶段：在学习阶段之后会有一个 30 秒的休息时间。(4)再认测试阶段：在该阶段，要求被试对呈现在屏幕中央的词语进行按键判断(F=“旧的”/J=“新的”)，判断该词语是否在学习阶段出现过，测试阶段的词语呈现顺序完全随机。按键完成后，随即出现下一个词语。

一个组块的任务全部完成后，要求被试完成 1 分钟的分心任务，随后进入下一个组块。三个组块之间的呈现顺序完全随机。在三个组块的任务全部完成后，实验结束。

2.5 实验仪器与数据采集

近红外光谱成像数据采集使用日本岛津公司生产的 LABNIRS 功能性近红外脑成像仪器(LABNIRS/16. Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan)，监测在整个实验过程中被试在特定脑区上的血氧浓度变化值。该成像仪采用三段波长(780nm、805nm、830nm)的近红外线半导体激光(被归为 IED-60825-1 标准下的 1M 级)，根据修订后的比尔-朗伯(吸收)定律(Modified Beer-Lambert law, MBLL)得到探测区域下氧合血红蛋白浓度(HbO)、脱氧血红蛋白浓度(HbR)、总血红蛋白浓度(HbT)的变化。前人研究表明，氧合血红蛋白(HbO)对刺激的变化更加敏感(Hoshi et al., 2001)，因此，本研究中以氧合血红蛋白浓度的变化值作为脑成像检测的重要指标。

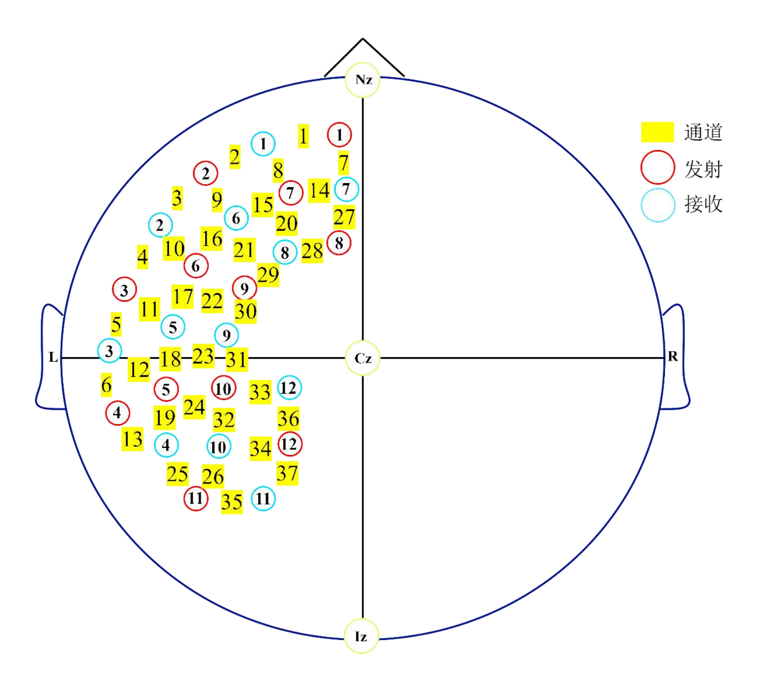


图 2 fNIRS 通道(channel, CH)分布与光极帽通道布局，其中红圈表示发射极(Transmit electrode)，蓝圈表示接收极(Receiving electrode)，黄色表示通道(Channel)，数字对应编号。

探头布置使用 4×7 的多通道探头板，由 12 个发射器和 12 个探测器组成，探头间距为 3 厘米，两类光极探头间隔排布，构成 37 个通道(channel, CH)。参照前人研究(Binder & Desai, 2011; Chadwick et al., 2016; Cooper & Ritchey, 2020; 倪召兵 等, 2021; Zhu et al., 2019)，本研究关注的兴趣区即探头主要布局区，覆盖在左侧额叶和颞叶，光极位置参考参照国标 10-20 脑电系统(Singh et al., 2005)进行放置(见图 2)。以 Fpz 为参照点，将光极帽的最底端放置于被试眉头上方，避免遮挡被试的视线，尽可能地保证完整覆盖被试的左侧额叶和颞叶皮层。fNIRS 数据采集结束后，使用 3D 定位仪(FASTRAK, Polhemus, Colchester, VT, USA)确定 Cz、Nz、Iz、AL、AR 点及探头位置。通过概率配准方法将 fNIRS 通道位置与 MNI 空间坐标进行配准，获得与布鲁德曼分区之间的对应关系(见附录 2)。

2.6 数据分析

2.6.1 行为数据分析

使用 SPSS 26.0 统计软件进行 3(趋近动机强度：高，中，低)×3(“学过”(old)反应：学习词正确识别，关键诱饵虚报率，无关词虚报率)的重复测量方差分析。虚报率(正确识别) = 错误再认数(正确识别数) / 总数。显著性水平为 $p < 0.05$，采用 Greenhouse-Geisser 进行球形校正，采用 Bonferroni 进行事后多重比较。所有被试($N = 29$)在关键诱饵上的虚报率均在平均值的三个标准差之内。此外，计算了无关词的虚报率，作为错误记忆率的基线指标，用于确定关键诱饵的错误记忆是否超出了偶然水平，即关键诱饵错误记忆率减去无关词错

误记忆率显著大于 0 值(类似研究见 Wagner et al., 2022)。

2.6.2 脑成像数据分析

近红外数据分析使用基于 Matlab(2013b)运行的 NIRS_SPM 软件(Near infrared Spectroscopy-Statistical Parametric Mapping)处理血氧信号变化(Ye et al., 2009)。第一步，首先对数据进行预处理，进行滤波和基线校正。根据血液动力学响应函数(Haemodynamic Response Functions, HRF)和小波变换方法(Wavelet-minimum description length, Wavelet-MDL)(Jang et al., 2009)，排除因呼吸、运动、心跳等噪声和信号漂移引起的信号失真。这两种方法的适宜性已在相关研究中得到了证实(Brigadoi et al., 2014)。第二步，采用一般线性模型(GLM)整合任务效应，用任务拟合参考波推断参数估计(GLM 模型中 beta 值的权重)，precoloring 方法调节此过程的时间自相关(白学军 等, 2016)。第三步，根据本研究目的，使用 SPSS 26.0 对不同任务下获得的 Beta 值进行配对样本 t 检验和重复测量方差分析。使用错误检测率法(false discovery rate, FDR)校正所有 p 值，校正后的 $p < 0.05$ 则为显著。第四步，将个体在学习阶段期间显著激活的脑区的平均 Beta 值分别与相应条件下的行为结果(关键诱饵虚报率)进行$\alpha = 0.05$ 水平的相关性分析，采用 Bonferroni 法进行多重比较校正，并使用相应显著激活脑区与关键诱饵虚报率进行线性回归分析，以确定脑活动能否预测行为结果的变化。

3 实验结果

3.1 不同实验条件下个体的错误记忆

对不同强度趋近动机积极情绪条件下关键诱饵虚报率的描述统计结果进行整理(见表 1)。作为基线指标，对三种强度条件下关键诱饵的虚报率减去相应无关词虚报率之后的结果表明，高趋平均差值(0.58)、中趋平均差值(0.51)和低趋平均差值(0.45)，以三种条件下的最小差值进行单样本 t 检验，结果差值显著大于 0 值 ($t(28) = 8.36$, $p < 0.001$, Cohen's d = 1.55, 95%CI = [0.34, 0.56])，这表明关键诱饵的虚报率均超出偶然水平。

表 1 不同实验条件下个体的“学过”反应描述统计结果($M(SD)$)

	学习词正确识别	关键诱饵虚报率	无关词虚报率
高趋积极情绪	0.76 (0.12)	0.75 (0.15)	0.17 (0.19)
中趋积极情绪	0.73 (0.11)	0.73 (0.19)	0.22 (0.19)
低趋积极情绪	0.74 (0.16)	0.62 (0.22)	0.17 (0.22)

对三种趋近动机强度下个体“学过”反应的重复测量方差分析结果显示：积极情绪的趋近动机强度主效应显著，$F(2, 27) = 8.01$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.22$，被试在高趋近动机强度下进行的“学过”反应显著大于低趋近动机强度($p = 0.010$, 95%CI = [0.01, 0.09])、中趋近动机强度下进行的“学过”反应也显著大于低趋近动机强度($p < 0.004$, 95%CI = [0.02, 0.09])、高和中趋近动机强度之间不存在显著差异；“学过”反应主效应显著，$F(2, 27) = 131.73$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.83$，被试对学习词的正确识别显著大于无关词的虚报($p < 0.001$, 95%CI = [0.45, 0.66])、对关键诱饵的虚报也显著大于无关词的虚报($p < 0.001$, 95%CI = [0.42, 0.61])、学习词的正确识别和关键诱饵的虚报之间不存在显著差异；趋近动机强度和“学过”反应交互作用显著，$F(4, 25) = 3.89$, $p = 0.014$, $\eta^2 = 0.38$。进一步的简单效应检验表明，高趋条件下个体对关键诱饵的虚报率显著高于低趋条件($p = 0.007$, 95%CI = [0.03, 0.24])、中趋条件下个体对关键诱饵的虚报率也显著高于低趋条件($p = 0.031$, 95%CI = [0.01, 0.22])、而高趋和中趋条件下个体对关键诱饵的虚报率之间不存在显著差异。学习词正确识别和无关词虚报在三种趋近动机强度下均不存在显著差异。这些结果表明，相比于低趋近动机积极情绪条件，个体在高、中趋近动机积极情绪条件下更容易产生错误记忆，即不同强度趋近动机积极情绪对错误记忆的影响具有特异性。

3.2 不同实验条件下个体的脑激活

首先，以通道为单位，对不同强度趋近动机积极情绪条件下各通道的 beta 值进行统计分析，并将其分别与基线条件下各通道的 beta 值进行配对样本 t 检验。经过 FDR 校正的结果表明，高、低趋条件下显著激活的通道有 CH 1、CH 2、CH 7、CH 8、CH 9、CH 14、CH 15、CH 20、CH 21、CH 22、CH 27、CH 28、CH 31、CH 32、CH 34、CH 36 ($p < 0.05$)，主要覆盖在左侧额上回、额中回、额下回、颞中下回、缘上回和角回(见图 3A、C)，其余通道都未出现明显的激活($p > 0.05$)；中趋条件下显著激活的通道除 CH 32 不显著外，其他通道激活情况与高趋相同(见图 3B)。进一步对三种强度趋近动机条件下所有通道的 beta 值进行重复测量方差分析，结果显示，在 CH 1 上趋近动机强度主效应显著，$F(2, 27) = 5.12$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.15$，使用配对样本 t 检验进行的主效应分析表明，CH 1 的 beta 值在高趋近动机条件下显著大于中趋近动机条件下的 beta 值($t = 2.77$, $p = 0.010$, 95%CI = [0.02, 0.12])，同时显著大于低趋近动机条件下的 beta 值($t = 2.53$, $p = 0.017$, 95%CI = [0.01, 0.11])，中低趋近动机条件下差异不显著，见图 3D。

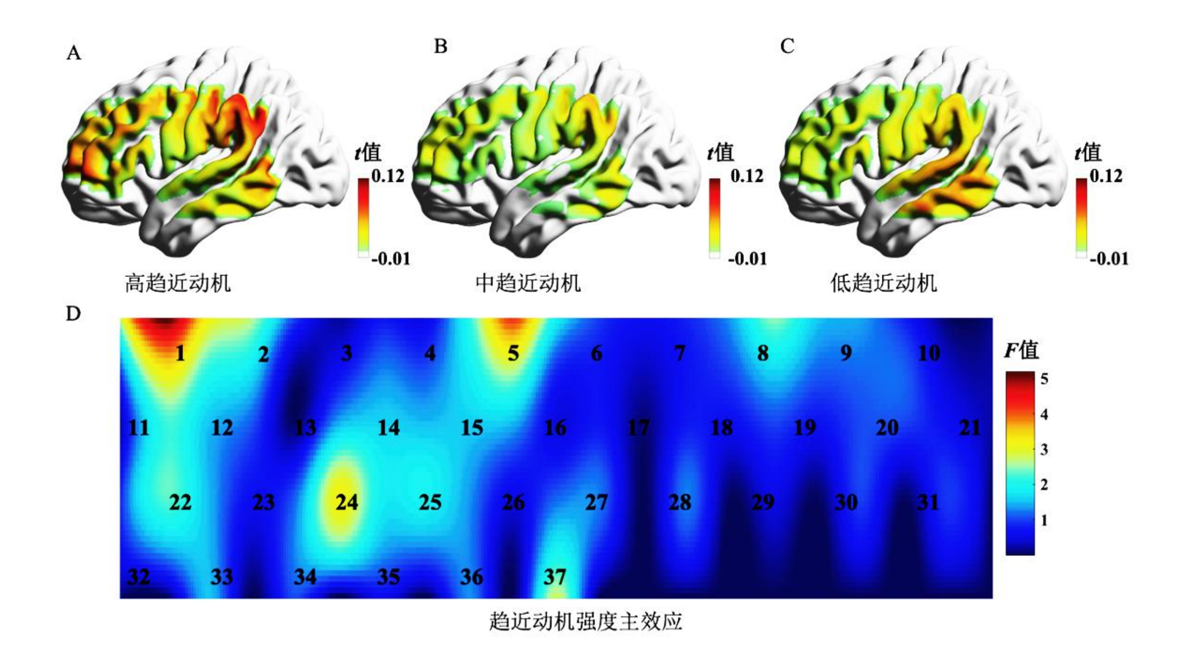


图 3 不同强度趋近动机积极情绪条件下个体的通道激活与主效应 *F* 值检验图(注：图 A、B、C 使用 Xia 等(2013)开发的 BrainNet Viewer 生成)，其中 A) 高趋近动机条件下个体的脑激活情况，B) 中趋近动机条件下个体的脑激活情况，C) 低趋近动机条件下个体的脑激活情况，D) 趋近动机强度主效应 *F* 值图(注：图中的颜色越靠近红色，表明激活越显著；图 D 中的数字代表对应通道)

其次，以兴趣区为单位，对不同强度趋近动机积极情绪条件下脑激活结果进行统计分析，即以左侧额叶(由 CH 1、CH 2、CH 3、CH 7、CH 8、CH 9、CH 10、CH 14、CH 15、CH 16、CH 17、CH 20、CH 21、CH 22、CH 23、CH 27、CH 28 构成)和左侧颞叶(由 CH 4、CH 5、CH 6、CH 11、CH 12、CH 13、CH 18、CH 19、CH 24、CH 25、CH 26、CH 31、CH 33、CH 34、CH 36、CH 37 构成)的 beta 值进行 2(脑区：左侧额叶，左侧颞叶)×3(趋近动机强度：高，中，低)的重复测量方差分析，结果表明，脑区主效应不显著，趋近动机强度主效应显著，$F(2, 14) = 10.90, p < 0.001, \eta^2 = 0.42$，脑区和趋近动机强度交互作用显著，$F(2, 14) = 4.64, p = 0.018, \eta^2 = 0.24$。进一步的简单效应检验表明，在左侧额叶中，高趋条件下的 beta 值显著大于中趋条件($p = 0.001$, 95%CI = [0.01, 0.04])和低趋条件($p = 0.003$, 95%CI = [0.01, 0.05])下的 beta 值，中趋条件和低趋条件虽然也存在差异但是未达到显著性水平(见图 4A)；左侧颞叶中，高趋条件下的 beta 值显著大于中趋条件下的 beta 值($p = 0.012$, 95%CI = [0.01, 0.08])，低趋条件下的 beta 值也显著大于中趋条件($p = 0.046$, 95%CI = [0.01, 0.08])，高趋条件和低趋条件下的 beta 值之间不存在显著差异(见图 4B)。

最后，对两个兴趣区下存在显著激活的通道具体所在的区域进行 7(具体脑区：额上回，额中回，额下回，颞中回，颞下回，颞中下回，颞顶联合区(包括缘上回和角回)×3(趋近动机强度：高，中，低)的重复测量方差分析，结果表明主效应和交互作用均不显著。

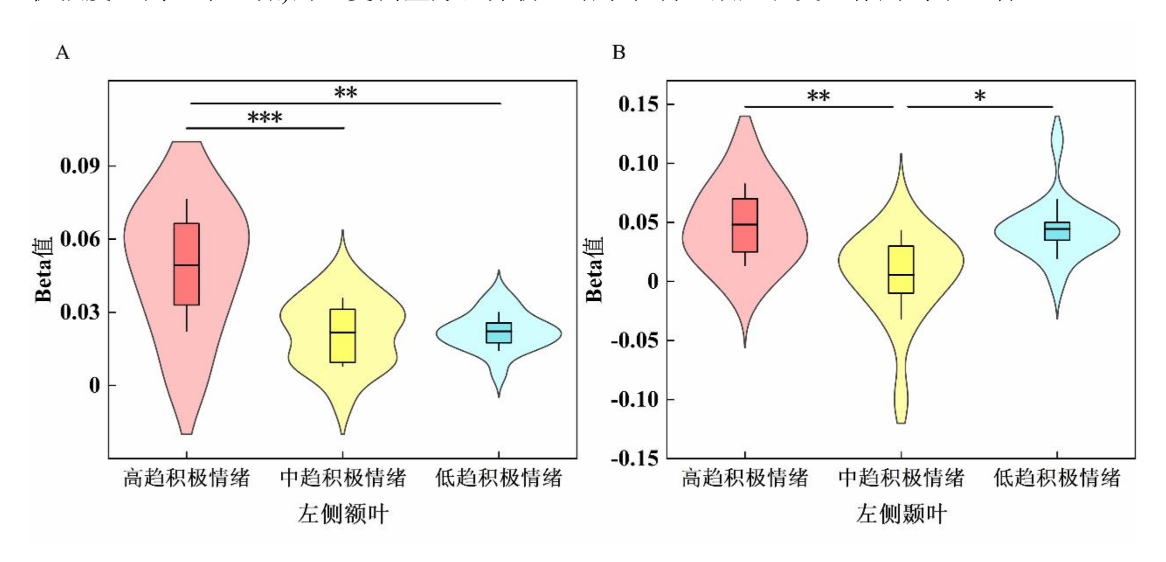


图 4 不同强度趋近动机积极情绪条件下个体在不同兴趣区上的脑激活差异，其中 A) 左侧额叶上的脑激活差异，B) 左侧颞叶上的脑激活差异(注：图中的坐标轴数值为放大 10000 倍后的数值，以下同)

3.3 不同实验条件下个体的脑激活与错误记忆的关系

首先，以通道为单位，对三种强度趋近动机积极情绪条件下各通道 beta 值与行为结果的相关分析，结果显示，在高趋近动机积极情绪条件下，CH 6、CH 13、CH 19、CH 25、CH 26、CH 32 与关键诱饵虚报率存在显著的正相关关系(见图 5A)；低趋近动机积极情绪条件下，CH 6、CH 13、CH 28、CH 29、CH 36 与关键诱饵虚报率存在显著的负相关关系(见图 5C)；中趋近动机积极情绪条件下，没有任何通道的激活水平与关键诱饵虚报率之间存在明显的相关关系(见图 5B)。

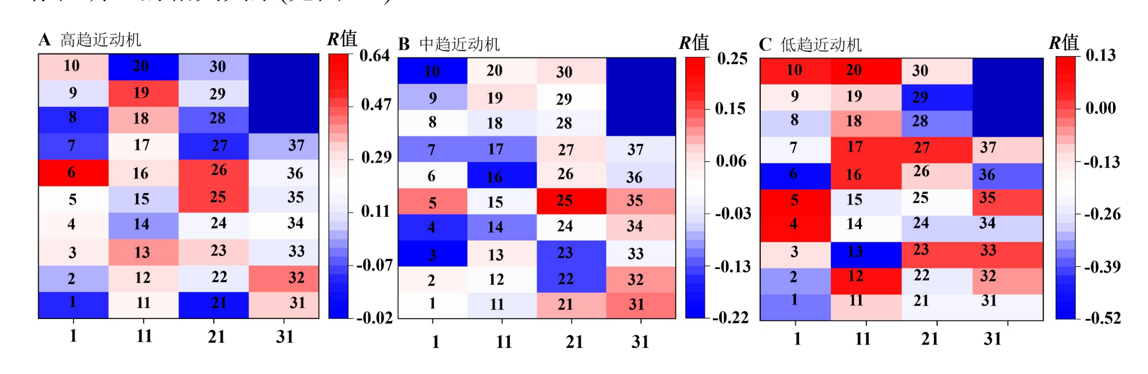


图 5 三种强度趋近动机积极情绪条件下各通道 beta 值与关键诱饵虚报率的相关值热点，其中 A) 高趋近动机积极情绪条件，B) 中趋近动机积极情绪条件，C) 低趋近动机积极情绪条件(注：图中的数字为对应通道)

其次，以兴趣区为单位，对左侧额叶和左侧颞叶的 beta 值与关键诱饵虚报率进行相关分析，采用 Bonferroni 法进行多重比较校正。结果表明，高趋近动机积极情绪条件下左侧颞叶的激活水平与关键诱饵虚报率之间的相关显著($r = 0.49$, $p = 0.007$, 95%CI = [0.15, 0.73])，而中/低趋近动机积极情绪条件下该脑区的活动与关键诱饵虚报率的相关不显著。进一步，对以上相关系数进行差异检验表明，高趋近动机积极情绪条件下的相关系数显著大于中/低趋近动机积极情绪条件($p = 0.032$, 95%CI = [0.01, 0.85]/ $p = 0.001$, 95%CI = [0.24, 1.18])。

再次，根据脑激活结果可知，三种条件下显著激活的脑区覆盖左侧额上回、中回、下回；左侧颞中回、下回、中下回和颞顶联合区(包括缘上回和角回)的部分区域。因此，将以上区域分别作为具体兴趣区纳入进一步的相关分析。首先，对不同强度趋近动机积极情绪条件下的各通道按照具体兴趣区求 beta 值的平均值。然后将平均后的 beta 值与各强度趋近动机积极情绪条件下被试对关键诱饵的虚报率进行皮尔逊相关分析，采用 Bonferroni 法进行多重比较校正。结果表明，高趋近动机积极情绪条件下，左侧额下回(CH 3、CH 10、CH 16、CH 17)，颞中回(CH 5、CH 11、CH 12、CH 26)、颞下回(CH 6、CH 13、CH 19、CH 25)、中下回(CH 12、CH 19、CH 25)上的 beta 平均激活水平与关键诱饵虚报率之间的相关显著，分别为左侧额下回($r = 0.54$, $p = 0.002$, 95%CI = [0.22, 0.76])、颞中回($r = 0.40$, $p = 0.031$, 95%CI = [0.04, 0.67]) 、颞下回($r = 0.57$, $p = 0.001$, 95%CI = [0.25, 0.77])、 颞中下回($r = 0.45$, $p = 0.015$, 95%CI = [0.09, 0.70])，其他具体兴趣区与关键诱饵虚报率之间的相关不显著；中趋近动机积极情绪条件下，所有具体兴趣区的 beta 平均激活水平与关键诱饵虚报率之间的相关系数均不显著；低趋近动机积极情绪下，左侧颞下回的 beta 平均激活水平与关键诱饵虚报率之间的相关显著，$r = -0.54$, $p = 0.003$, 95%CI = [-0.76, -0.22]，其他具体兴趣区与关键诱饵虚报率之间的相关不显著。

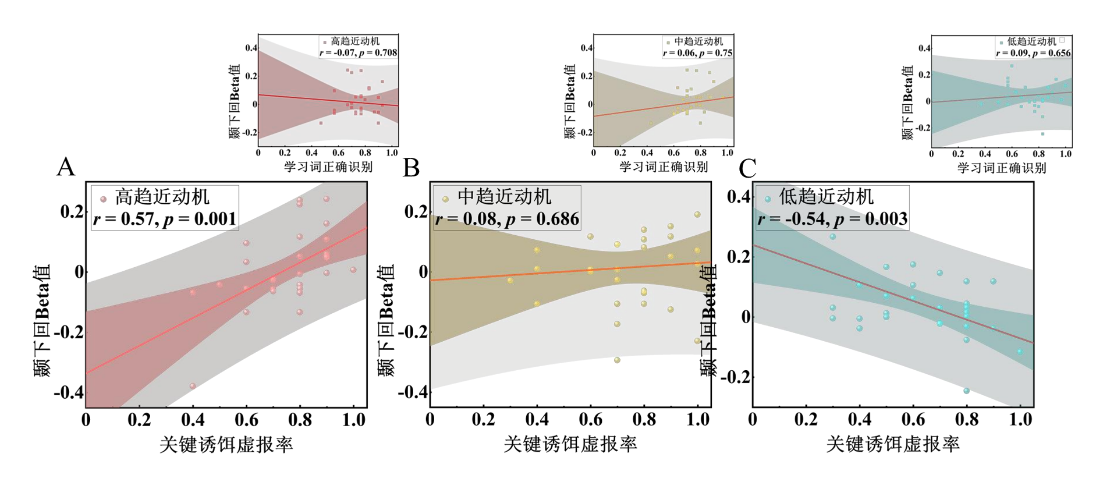


图 6 不同强度趋近动机积极情绪条件下颞下回激活值与关键诱饵虚报率之间的相关，其中 A) 高趋近动机积极情绪条件，B) 中趋近动机积极情绪条件，C) 低趋近动机积极情绪条件(注：右上角小图为对应强度趋近动机条件下颞下回激活值与学习词正确识别之间的相关)

进一步，采用 R 语言中的 cocor 工具包对显著相关系数进行差异检验，分析表明，在左侧额下回，中/低趋近动机积极情绪条件下该脑区的活动与关键诱饵虚报率的相关不显著，且高趋近动机积极情绪条件下的相关系数显著大于中/低趋近动机积极情绪条件(p = 0.002, 95%CI = [0.29, 1.10]/ p = 0.032, 95%CI = [0.04, 0.97])；在左侧颞下回，中趋近动机积极情绪条件下该脑区的活动与关键诱饵虚报率的相关不显著(见图 6B)，且高趋近动机积极情绪条件下的相关系数显著大于中/低趋近动机积极情绪条件(p = 0.031, 95%CI = [0.04, 0.89]/ p < 0.001, 95%CI = [0.69, 1.39])，同时，低趋动机积极情绪条件下的相关系数显著小于高/中趋近动机积极情绪条件(p < 0.001, 95%CI = [-1.39, -0.69]/ p = 0.012, 95%CI = [-1.02, -0.14])。其余相关系数的差异检验结果均为不显著。以上结果表明，在高趋近动机积极情绪条件下，左侧额下回及部分颞叶的激活水平越高，被试出现的错误记忆就越多(见图 6A)；而在低趋近动机积极情绪条件下，左侧颞下回的激活水平越高，被试出现的错误记忆越少(见图 6C)。

最后，对不同强度趋近动机积极情绪条件下显著激活的兴趣区分别与关键诱饵虚报率建立线性回归模型，用以进一步验证二者之间的关系。结果表明，在高趋近动机积极情绪条件下，左侧颞下回的激活水平与关键诱饵虚报率之间的线性相关程度 R = 0.56，决定系数 R^2 = 0.32，F(1, 27) = 12.66, p = 0.001，回归模型显著，说明关键诱饵虚报率变化的 32%可以由颞下回激活来解释，回归系数的检验分析显示，颞下回的激活水平对关键诱饵虚报率的影响显著β = 0.46, t = 3.56, p = 0.001, 95%CI = [0.20, 0.73]，可建立回归模型为：关键诱饵虚报率 = -0.34 + 0.46 × 颞下回激活水平。在中趋近动机积极情绪条件下，显著激活的兴趣区对关键诱饵虚报率没有产生显著的影响。在低趋近动机积极情绪条件下，左侧颞下

回的激活水平与关键诱饵虚报率之间的线性相关程度 $R = 0.54$，决定系数 $R^2 = 0.29$, $F(1, 27) = 11.09$, $p = 0.003$，回归模型显著，说明关键诱饵虚报率变化的 29%可以由颞下回激活来解释，回归系数的检验分析显示，颞下回的激活水平对关键诱饵虚报率的影响显著$\beta = -0.31$, $t = -3.33$, $p = 0.003$, 95%CI = [-0.50, -0.12]，可建立回归模型为：关键诱饵虚报率 = 0.24 - 0.31 × 颞下回激活水平。以上结果表明，颞下回的激活水平能够影响错误记忆的产生，即在高趋积极情绪条件下，被试产生更多的错误记忆，部分是因为左侧颞下回的激活水平更高；相反，在低趋积极情绪条件下，被试产生较少的错误记忆，部分是因为左侧颞下回的激活水平更高。

4 讨论

本研究采用 DRM 范式，结合 fNIRS 脑成像技术，探究了在不同强度趋近动机积极情绪条件下，个体产生基于语义关联性错误记忆的心理与神经机制。行为结果表明，个体在高趋近动机积极情绪条件下产生了更多的错误记忆，并且趋近动机的影响仅存在于错误记忆中。同时，脑激活结果表明，在编码阶段个体左侧额叶、颞叶部分区域均有不同程度的显著激活。脑激活与行为结果的相关分析显示，在高趋近动机积极情绪条件下，多个通道及左侧额下回和颞叶的激活水平与被试产生的错误记忆之间存在显著的正相关；低趋近动机积极情绪条件下，多个通道及左侧颞下回激活水平与被试产生的错误记忆存在显著的负相关，并在左侧颞下回出现分离效应。进一步的线性回归分析显示，作为语义网络的重要组成部分，左侧颞下回在高趋和低趋积极情绪条件下对错误记忆的产生起到了重要作用。

4.1 不同强度趋近动机积极情绪影响错误记忆的行为机制

在经典的错误记忆研究中，关键诱饵通常与学习词具有很高的语义关联性，在 DRM 词表中，个体进行要义痕迹表征会产生对语义相关项目即关键诱饵的错误记忆，而字面痕迹表征能减少错误记忆的发生(肖红蕊 等, 2015; 张增修 等, 2017)。在模糊痕迹理论中，要义痕迹表征和字面痕迹表征对错误记忆有着相反的影响，要义痕迹加工会产生更多的错误记忆，且前人研究表明，高趋近动机积极情绪下的个体更倾向于记忆事件的要义、主旨而非细节，(李晓雪, 2020)。Förster 等(2006)认为，趋近动机使得个体以关联的方式激活其他信息，且能够联想到更深层次和更本质的内容。在随后的研究中，Förster 和 Glomosysr(2012)又增加了对趋近动机功能的解释，即趋近动机会促使个体进行整体加工，进而使个体的判断标准更加宽松。在本研究中，三种强度趋近动机积极情绪下，个体对关键诱饵的错误记忆率都较高，且都超出了偶然水平，这说明个体在三种强度条件下均进行

了要义痕迹表征从而产生对语义相关项目的错误记忆；且高、中趋近动机积极情绪下的关键诱饵词错误记忆率显著高于低趋近动机积极情绪下的关键诱饵词错误记忆率，这与本研究的研究假设一致。根据模糊痕迹理论和前人研究结果可推论，趋近动机的强度影响着要义痕迹加工的程度，即趋近动机强度越高，个体就越倾向于采用要义痕迹加工，更关注词语的要义、主旨而非细节，判断的标准更加宽松，从而产生的错误记忆也就越多，本研究行为结果初步支持了前人研究推论。

4.2 不同强度趋近动机积极情绪影响错误记忆的神经机制

为了进一步探究不同强度趋近动机的积极情绪对错误记忆产生影响的心理过程与神经机制问题，本研究结合行为指标与脑成像结果，从内隐的神经活动与外显的行为结果两个角度来进行讨论。首先，以通道为单位的分析结果显示，三种强度趋近动机积极情绪条件下通道的激活模式不同，进一步的差异分析表明，高趋近动机条件下的激活强度最高。这一结果与前人的研究结果一致，说明积极情绪的趋近动机强度不同，大脑激活的模式和水平也存在差异(佚牧 等, 2015)，并且激活水平随着动机强度的不同而不同。其次，以兴趣区为单位的分析结果表明，在左侧额叶，高趋近动机积极情绪条件下的激活水平显著高于中、低趋近动机条件；在左侧颞叶，高、低趋近动机积极情绪条件下的激活水平都显著高于中趋近动机条件，高趋近动机激活水平虽然也高于低趋近动机激活水平，但两者的差异不显著。再次，对两个兴趣区下存在显著激活的通道所在的具体区域进行分析，结果表明不同强度趋近动机积极情绪条件下具体脑区活动不存在显著差异。根据情绪效价理论，左半球的激活与积极情绪有关(Poole et al., 2014)。倪召兵等(2021)采用 ERP 技术，结合 DRM 范式探究情绪效价对错误记忆的影响，结果表明积极情绪下产生了最多的错误记忆，并且在积极情绪下进行编码时，个体大脑前额叶皮层和左侧颞叶皮层显著激活。本研究得到的结果与前人相似，三种趋近动机积极情绪条件下均发现了左侧前额叶皮层和颞叶皮层的显著激活，这表明在积极情绪下，个体调用更多脑力资源对相关内容进行加工和联想，使得错误记忆增加。另外，前人研究结果显示，左侧额叶和颞叶均与语义网络和趋近动机密切相关(Chadwick et al., 2016; Schutter et al., 2008)，同时也是大脑进行激活监控的重要组成部分(Kubota et al., 2006)。王安琪等(2019)发现高趋近动机在左侧前额叶表现出了更强的情绪感知力，其激活强度也更强。同时，先前的神经成像研究提供的证据表明，在编码和提取错误记忆时，额叶、颞叶以及顶叶区域组成的核心网络在其中起到重要作用(Boggio et al., 2009)。王婷婷等(2009)使用 fMRI 技术对记忆的编码和提取神经机制的研究表明，大脑在进行语义相关的编码和提取时主要依赖于左侧的前额叶和颞叶。Gainotti(2011)也认为左侧

颞叶参与处理与言语刺激相关的语义任务，右侧颞叶用于加工非言语类的语义表征。当前结果表明，相比于中、低强度的趋近动机积极情绪条件，在高强度趋近动机条件下，个体对词语编码时进行了更多的语义加工或联想，将更多的脑力资源投入到了语义编码中，由于个体在编码阶段会对所学词汇进行语义联想，其语义网络相关区域将会被激活。本研究结果中的脑区激活结果亦支持了以上观点，即说明个体在编码阶段与语义网络相关脑区的显著激活是由记忆相关任务所导致，个体将更多的脑力资源投入到了语义编码中，从而加深了词汇之间的关系加工。

4.3 脑激活与错误记忆的关系及颞下回的分离效应

更为重要的是，本研究将三种强度条件下脑激活水平与错误记忆的行为结果进行了相关分析，具体如下：首先，以通道为单位的分析结果显示，高趋近动机积极情绪条件下部分通道与错误记忆结果之间存在正相关关系，低趋近动机积极情绪条件下部分通道与错误记忆结果之间存在负相关关系。其次，以兴趣区为单位的分析结果显示，左侧额叶的整体激活与错误记忆结果之间不存在相关性，进一步对存在显著激活的额叶具体兴趣区进行相关分析表明，在高趋近动机积极情绪条件下，左侧额下回的激活水平与错误记忆结果之间存在显著的正相关关系。前人研究表明，错误记忆产生原因比较复杂，虽然大多数研究都强调提取阶段监控失效的作用，但错误记忆也可能产生于编码阶段激活加工的增强(Pierce et al, 2005)，如，自发性错误记忆主要发生在编码阶段(杨治良 等, 2006)。Cabeza 等(2001)的研究发现正确再认学习词或是错误再认关键诱饵时，与语义加工密切相关的左侧额下回都被激活，且在这两种情况下的激活程度相同。还有研究发现，左侧额叶同样也参与到错误记忆的产生过程中。Kubota 等(2006)的研究首次指出编码阶段左侧额叶的激活能够预测个体随后发生错误识别的概率，证明了编码阶段左侧额叶的激活在产生错误记忆中的重要作用。这些研究都说明了左侧额叶的激活与更深入的语义加工相关，趋近动机越高激活的程度越高，同时可能反映了左侧额叶对编码信息的监控，从而不仅增强了对学习词的记忆强度，还会增强对存在语义联系的关键诱饵词的错误记忆强度。当前研究中发现的左侧额叶的结果也与 Price 和 Harmon-Jones (2011)的研究结果一致，他们通过使用 EEG 技术考察了积极情绪动机性对注意的影响，结果表明，在高趋近动机积极情绪条件下个体的左侧额叶激活更明显，并且与注意的行为指标存在明显的相关关系。

除了左侧额叶，对三种强度趋近动机积极情绪条件下左侧颞叶的脑激活水平与错误记忆结果进行相关分析，结果显示，在高趋近动机积极情绪条件下，左侧颞叶与错误记忆之间存在显著的正相关，进一步对存在显著激活的颞叶中的具体兴趣区进行相关分析，结果

显示高趋近动机积极情绪条件下，颞中、下和中下回激活水平分别与错误记忆存在显著的正相关关系；低趋近动机积极情绪条件下，颞下回激活水平与错误记忆存在显著的负相关关系。在前人研究中，张建英(2014)考察了不同趋近动机积极情绪对工作记忆的影响，结果显示，在高趋近动机积极情绪条件下，被试的反应速度更快，但同时产生的错误识别也更多，而在低趋近动机积极情绪条件下则会提高被试对学习词的正确识别，研究者认为这是由于高趋近动机会窄化记忆范围而低趋近动机会扩宽记忆范围。刘英丽等(2015)研究了情绪的动机性对词语记忆广度的影响，结果显示情绪的动机方向和强度共同影响词语记忆的正确率，低趋近动机积极情绪对词语记忆有促进作用。Chadwick 等(2016)的 fMRI 研究表明，个体在学习 DRM 词表时颞叶的激活预测了与这些词表语义上相关的关键诱饵的错误记忆。Gallate 等(2009)使用低频重复经颅磁改变左侧颞叶的正常活动，在不改变正确识别的情况下降低了随后对关键诱饵的错误记忆。同样，Boggio 等(2009)发现使用经颅直流电刺激对颞叶进行阳极刺激时能够降低随后错误记忆。Díez 等(2017)发现颞叶在错误记忆中的作用程度取决于学习词表中的词语和关键诱饵的之间的语义关系，减少颞叶的激活能够减少随后关键诱饵的错误记忆。也有研究表明，语义认知也需要控制过程，每当语义提取受到限制时，左侧颞中下回的活动就会受到影响(Badre et al., 2005)。近期，Alonso 等(2024)通过在个体进行 DRM 任务时，对左侧颞中下回进行经颅直流电刺激，试图干扰其语义控制过程，结果显示当进行阳极刺激时，个体随后的错误记忆会显著增加，但对正确识别没有影响，这一结果表明了左侧颞中下回在错误记忆产生中的重要作用。与前人研究结果相似，当前结果验证了左侧颞下回的分离效应，并进一步验证了左侧颞叶作为语义网络中重要的一环对错误记忆的影响是多方面的，不同情况下的激活会对随后的错误记忆产生不同的影响，高趋近动机积极情绪条件下颞叶的激活有助于错误记忆的发生，而低趋近动机积极情绪条件下颞叶的激活能够减少错误记忆的发生。结合本研究的行为结果与模糊痕迹理论的观点，说明个体在高趋近动机积极情绪条件下更关注词语的要义、整体，对词语进行更多的语义加工，这就更有可能激活与学习词语义相近的关键诱饵，从而导致更多的错误记忆；相反，在低趋条件下，个体可能更加关注细节，对词语进行更多的属性加工，就更可能关注学习词的字面痕迹表征，从而减少错误记忆。最后，为了探究存在显著相关的兴趣区活动是否能够预测错误记忆的变化，本研究分别对这些兴趣区的活动与错误记忆行为结果进行了一元线性回归分析，结果表明，在高趋和低趋条件下，左侧颞下回的激活水平与错误记忆之间的回归模型显著，其对错误记忆呈相反的影响。具体来说，高趋条件下，错误记忆的增加有一部分原因是因为左侧颞下回的激活增加导致的，而低趋条件下，

错误记忆的减少部分原因也是因为左侧颞下回的激活增加导致的，这一结果与前人有关左侧颞叶与错误记忆之间关系的研究结果一致，进一步验证了积极情绪趋近动机的不同强度会通过影响左侧颞下回的活动进而对错误记忆产生影响。

4.4 研究局限与展望

本研究采用 DRM 范式与 fNIRS 相结合，探讨了积极情绪的动机性对错误记忆的影响，从神经水平上考察了不同强度趋近动机积极情绪条件下的个体在学习 DRM 词表时的脑激活情况及其与错误记忆行为结果之间的关系。然而，本研究仍存在一些研究局限。首先，本研究聚焦基于词表的错误记忆产生过程，对研究结果的推论范围需持谨慎态度，即基于事件的错误记忆是否也会受到情绪动机性的影响及其影响机制问题尚不明晰；其次，本研究考察了积极情绪的趋近动机维度对错误记忆的影响过程和机制，但是针对不同情绪效价（如消极情绪）和动机方向（如回避动机维度）对错误记忆的影响方面尚存在空白；再次，考虑到设备适宜性问题，本研究采用 fNIRS 作为记录被试在记忆编码阶段神经过程的技术手段，但是该技术的一个主要局限在于只能监测关键脑区，难以实现对全脑活动进行记录和分析；最后，本研究仅关注不同强度趋近动机积极情绪条件下的个体在编码阶段的神经活动对随后产生错误记忆的影响，然而，根据激活监测理论，记忆的不同加工阶段（包括编码、提取等）对错误记忆的产生都有重要的影响作用。因此，在未来的研究中，应通过结合多种研究范式、加入不同情绪效价并同时考虑回避动机维度、尽可能监测全脑活动，并整合考虑记忆加工的不同阶段，全面深入揭示情绪动机性对错误记忆影响的内在机制问题。

5 结论

积极情绪的趋近动机强度会影响错误记忆，此外，左侧额叶参与趋近动机加工，左侧额叶、颞叶是要义痕迹加工的关键脑区，更为重要的是，积极情绪的趋近动机强度会影响语义加工脑区的激活水平与错误记忆之间的关系，其中，左侧颞下回在这一影响中表现出关键的分离效应。综上所述，不同强度趋近动机积极情绪的影响特定作用于错误记忆，其强度不同对错误记忆影响也就不同，且这些特异性影响发生在行为和神经两个层面上。

参考文献

Alonso, M. A., Díez, E., Díez-Álamo, A. M., Fernandez, A., & Gómez-Ariza, C. J. (2024). Transcranial direct current stimulation over the left posterior temporal lobe modulates semantic control: evidence from episodic memory distortions. *Brain and Cognition*, *175*, 106130.

Buss, K. A., Schumacher, J. R., Dolski, I., Kalin, N. H., Goldsmith, H. H., & Davidson, R. J. (2003). Right frontal brain activity, cortisol, and withdrawal behavior in 6-month-old infants. *Behavioral Neuroscience*, *117*(1), 11–20.

Badre, D., Poldrack, R. A., Paré-Blagoev, E. J., Insler, R. Z., & Wagner, A. D. (2005). Dissociable controlled retrieval and generalized selection mechanisms in ventrolateral prefrontal cortex. *Neuron*, *47*(6), 907–918.

Boggio, P. S., Fregni, F., Valasek, C., Ellwood, S., Chi, R., Gallate, J., Pascual-Leone, A., & Snyder, A. (2009). Temporal lobe cortical electrical stimulation during the encoding and retrieval phase reduces false memories. *PloS one*, *4*(3), e4959.

Binder, J. R., & Desai, R. H. (2011). The neurobiology of semantic memory. *Trends in Cognitive Sciences,15*(11), 527–536.

Balconi, M., Falbo, X., & Conte, V. A. (2012) BIS and BAS correlates with psychophysiological and cortical response systems during aversive and appetitive emotional stimuli processing. *Motivation and Emotion*, *36*, 218–231.

Brigadoi, S., Ceccherini, L., Cutini, S., Scarpa, F., Scatturin, P., Selb, J., Gagnon, L., Boas, D. A., & Cooper, R. J. (2014). Motion artifacts in functional near-infrared spectroscopy: a comparison of motion correction techniques applied to real cognitive data. *NeuroImage*, *85*, 181−191.

Bai, X. J., Zhang, Q. H., Zhang, P., Zhou, S., Liu, Y., Song, X., & Peng, G. H. (2016). Comparison of motor execution and motor imagery brain activation patterns: a fNIRS study. *Acta Psychologica Sinica, 48*(5), 495–508.

[白学军, 张琪涵, 章鹏, 周菘, 刘颖, 宋星, 彭国慧. (2016). 基于fNIRS的运动执行与运动想象脑激活模式比较. *心理学报, 48*(05), 495–508.]

Bookbinder, S, H., & Brainerd, C. J. (2016). Emotionally and false memory: the context-content paradox. *Psychological Bulletin, 142*(12), 1315−1351.

Bookbinder, S. H., & Brainerd, C. J. (2017). Emotionally negative pictures enhance gist memory. *Emotion, 17*(1), 102−119.

Cabeza, R., Rao, S. M., Wagner, A. D., Mayer, A. R., & Schacter, D. L. (2001). Can medial temporal lobe regions distinguish true from false? An event-related functional MRI study of veridical and illusory recognition memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 98*(8), 4805–4810.

Cui, L. X., Zhang, Y. J., Xiao, J., & Zhang, Q. (2013). The influence of positive affect on mental rotation of compound stimuli: the moderating role of approch motivation. *Acta Psychologica Sinica, 45*(11), 1228–1241.

[崔丽霞, 张玉静, 肖晶, 张钦. (2013). 积极情绪对心理旋转的影响: 趋近动机的调节效应. *心理学报, 45*(11), 1228–1241.]

Chadwick, M. J., Anjum, R. S., Kumaran, D., Schacter, D. L., Spiers, H. J., & Hassabis, D. (2016). Semantic representations in the temporal pole predict false memories. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113*(36), 10180–10185.

Cooper, R. A., & Ritchey, M. (2020). Progression from feature-specific brain activity to hippocampal binding during episodic encoding. *Journal of Neuroscience, 40*(8), 1701–1709.

Deese, J. (1959). On the prediction of occurrence of particular verbal intrusions in immediate recall. *Journal of Experimental Psychology*, *58*, 17–22.

Díez, E., Gómez-Ariza, C. J., Díez-Álamo, A. M., Alonso, M. A., & Fernandez, A. (2017). The processing of semantic relatedness in the brain: evidence from associative and categorical false recognition effects following transcranial direct current stimulation of the left anterior temporal lobe. *Cortex*, *93*, 133–145.

Frenda, S. J., Nichls, R. M., & Loftus, E. F. (2011). Current issues and advances in misinformation research. *Current Directions in Psychological Sciences, 20*(1), 20–23.

Ferrari, M., & Quaresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy development and fields of application. *NeuroImage, 63*(2), 921–935.

Förster, J. (2006). Enhancement of approach and avoidance behavior influences the scope of perceptual and conceptual attention. *Journal of Experimental Social Psychology, 42*(2), 133–146.

Förster, J. (2012). Glomosysr: The how and why of global and local processing. *Current Directions in Psychological Science, 21*(1), 15–19.

Gable, P. A., & Harmon-Jones, E. (2008). Approach-motivated positive affect reduces breadth of attention. *Psychological Science, 19*, 476–482.

Gallate, J., Chi, R., Ellwood, S., & Snyder, A. (2009). Reducing false memories by magnetic pulse stimulation. *Neuroscience Letters*, *449*, 151–154.

Gable, P. A., & Harmon-Jones, E. (2010a). The motivational dimensional model of affect: implications for breadth of attention, memory, and cognitive categorisation. *Cognition and Emotion*, *24*(2), 322–337.

Gable, P. A., & Harmon-Jones, E. (2010b). The blues broaden, but the nasty narrows: attentional consequences of negative affects low and high in motivational intensity. *Psychological Science, 21,* 211–215.

Gable, P. A., & Harmon-Jones, E. (2010c). The effect of low versus high approach-motivated positive affect on memory for peripherally versus centrally presented information. *Emotion, 10*, 599–603.

Gainotti, G. (2011). What the study of voice recognition in normal subjects and brain-damaged patients tells us about models of familiar people recognition. *Neuropsychologia*, *49*, 2273–2282.

Hoshi, Y., Kobayashi, N., & Tamura, M. (2001). Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model. *Journal of Applied Physiology, 90*(5), 1657–662.

Harmon-Jones, E. (2007). Trait anger predicts relative left frontal cortical activation to anger-inducing stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, *66*(2), 154–160.

Jang, K. E., Tak, S., Jung, J., Jang, J., Jeong, Y., & Ye, J. C. (2009). Wavelet minimum description length detrending for near-infrared spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics, 14*(3), 034004.

Kubota, Y., Toichi, M., Shimizu, M., Mason, R. A., Findling, R. L., Yamamoto, K., & Calabrese, J. R. (2006). Pref-rontal hemodynamic activity predicts false memory--a near-infrared spectroscopy study. *NeuroImage*, *31*(4), 1783–1789.

Kensinger, E. A., & Schacter, D. L. (2007). Remembering the specific visual details of presented objects: neuroimaging evidence for effects of emotion. *Neuropsychologia, 45*(13), 2951–2962.

Knott, L. M., Thorley, C. E., & Howe, M. L. (2014). Mood-congruent false memories persist over time. *Cognition & Emotion, 28*(5), 903–912.

Lu, C. M., Zhang, Y. J., & Biswal, B. B. (2010). Use of fNIRS to assess resting state functional connectivity. *Journal of Neuroscience Methods, 186*(2), 242–249.

Leff, D. R., Orihuela-Espina, F., Elwell, C. E., Athanasiou, T., Delpy, D.T., Darzi, A. W., & Yang, G. Z. (2011). Assessment of the cerebral cortex during motor task behaviours in adults: a systematic review of functional near infrared spectroscopy (fNIRS) studies. *NeuroImage, 54*(4), 2922–2936.

Liu, Y. L., Guo, C. Y., & Jin, Z. (2015). The effects of different motivational emotions on word working memory. *Chinese Journal of Behavioral Medicine and Brain Science, 24*(2), 176–177.

[刘英丽, 郭春彦, 金真. (2015). 不同动机情绪对词语工作记忆的作用. *中华行为医学与脑科学杂志, 24*(2), 176–177.]

Li, T. (2015). *Affective state and DRM paradigm: an investigation of valence and arousal on false memory* . (Unpublished master's thesis). Shaanxi Normal University.

[李桐. (2015). *DRM范式下诱发情绪对错误记忆的影响*. (硕士学位论文). 陕西师范大学.]

Liu, F., Ding, J. H., & Zhang, Q. (2016). Positive affect and selective attention: approach-motivation intensity influences the early and late attention processing stages. *Acta Psychologica Sinica*, *48*(7), 794–803.

[刘芳, 丁锦红, 张钦. (2016). 高、低趋近积极情绪对不同注意加工阶段的影响. *心理学报*, *48*(7), 794–803.]

Liu, L. T. (2018). *The effects of mood on spontaneous false memory and its underlying mechanism*. (Unpublished doctoral dissertation). Zhejiang University.

[刘丽婷. (2018). *情绪对自发性错误记忆的影响及其机制*. (博士学位论文). 浙江大学.]

Li, X. X. (2020). *The influence of motivation of affect for acene memory*. (Unpublished master's thesis). Hebei University.

[李晓雪. (2020). *情绪的动机对场景记忆的影响*. (硕士学位论文). 河北大学.]

Niedenthal P. M. (2007). Embodying emotion. *Science* (*New York, N.Y.*), *316*(5827), 1002–1005.

Ni, S. B., Li, Y., Zhao, Y. G., Yang, S., & Yin, N. (2021). Research on the influence of mixed emotional factors on false memory based on brain functional network. *Journal of Biomedical Engineering*, *38*(5), 828–837.

[倪召兵, 李颖, 赵营鸽, 杨硕, 尹宁. (2021). 基于脑功能网络的混合情绪因素对错误记忆影响的研究. *生物医学工程学杂志, 38*(5), 828–837.]

Oliver, M. C., Bays, R. B., & Zabrucky, K. M. (2016). False memories and the DRM paradigm: effects of imagery, list, and test type. *The Journal of General Psychology, 143*, 33–48.

Pierce, B. H., Gallo, D. A., Weiss, J. A., & Schacter, D. L. (2005). The modality effect in false recognition: evidence for test-based monitoring. *Memory & Cognition*, *33*(8), 1407–1413.

Price, T. F., & Harmon-Jones, E. (2010). The effect of embodied emotive states on cognitive categorization. *Emotion (Washington, D.C.), 10*(6), 934–938.

Price, T. F., & Harmon-Jones, E. (2011). Approach motivational body postures lean toward left frontal brain activity. *Psychophysiology, 48*, 718–722.

Poole, B. D., & Gable, P. A. (2014). Affective motivational direction drives asymmetric frontal hemisphere activation. *Experimental Brain Research*, *232*(7), 2121–2130.

Roediger, H. & McDermott, K. B. (1995). Creating false memories: remembering words not presented in lists. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 21*(4), 803–814.

Stadler, M. A., Roediger, H. L., & McDermott, K. B. (1999). Norms for word lists that create false memories.

Memory and Cognition, 27(3), 495–500.

Singh, A. K., Okamoto, M., Dan, H., Jurcak, V., & Dan, I. (2005). Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI. *NeuroImage, 27*(4), 842–851.

Storbeck, J., & Clore, G. L. (2005). With sadness comes accuracy; with happiness, false memory mood and the false memory effect. *Psychological Science, 16*(10), 785–791.

Schutter, D. J., de Weijer, A. D., Meuwese, J. D., Morgan, B., & van Honk, J. (2008). Interrelations between motivational stance, cortical excitability, and the frontal electroencephalogram asymmetry of emotion: a transcranial magnetic stimulation study. *Human Brain Mapping*, *29*, 574–80.

Storbeck, J., & Clore, G. L. (2011). Affect influences false memories at encoding: evidence from recognition date. *Emotion, 11*(4), 981–989.

Spalding, K. N., Jones, S. H., Duff, M. C., Tranel, D., & Warren, D. E. (2015). Investigating the neural correlates of schemas: ventromedial prefrontal cortex is necessary for normal schematic influence on memory. *Journal of Neuroscience, 35*(47), 15746–15751.

Wang, T. T., Mo, L., & Shu, S. Y. (2009). The brain mechanism of memory encoding and retrieval: a review on the fMRI studies. *Acta Physiological Sinica*, *61*(5), 395–403.

[王婷婷, 莫雷, 舒斯云. (2009).记忆编码与提取过程的脑机制——功能性核磁共振研究. *生理学报*, *61*(5), 395–403.]

Wang, X. M., Ma, Y. H., & Song, G. W. (2010). The effects of priming emotion and presentation mode on false memory. *Studies of Psychology and Behavior*, *8*(3), 208–212.

[王晓明, 马玉花, 宋广文. (2010). 启动情绪和呈现方式对错误记忆的影响. *心理与行为研究, 8*(3), 208–212.]

Wang, Z. H., Liu, Y., & Jiang, C. H. (2013). The effect of low versus high approach-motivated positive affect on cognitive control. *Acta Psychologica Sinica*, *45*(5), 546–555.

[王振宏, 刘亚, 蒋长好. (2013). 不同趋近动机强度积极情绪对认知控制的影响. *心理学报, 45*(5), 546–555.]

Wang, C. M., & Lv, Y. (2016). Review of the emotional motivation effect on cognitive processing. *Psychological Research*, *9*(1), 15–21.

[王春梅, 吕勇. (2016). 情绪的动机性对认知加工作用研究评述. *心理研究, 9*(1), 15–21.]

Wang, A. Q., Zhu, H. D., Zhu, X., &. Qiao, Q. C. (2019). Electroencephalogram mechanism of asymmetric activation of frontal cortex induced by emotional motivation. *Acta Universitatis Medicinalis Anhui*, *54*(10), 1632–1636.

[王安琪, 朱海东, 朱洵, 乔亲才. (2019). 情绪动机方向诱发额叶皮质不对称激活的神经机制研究. *安徽医科*

大学学报, *54*(10), 1632–1636.]

Wagner, U., Schlechter, P., & Echterhoff, G. (2022). Socially induced false memories in the absence of misinformation. *Scientific Reports, 12,* 7725.

Yang, Z. L., Wang, S. R., & Tang, Q. H. (2006). Sources of false memories: encoding stage/retention stage. *Chinese Journal of Applied Psychology*, (02), 99–106.

[杨治良, 王思睿, 唐菁华. (2006). 错误记忆的来源:编码阶段/保持阶段. *应用心理学*, (02), 99–106.]

Ye, J. C., Tak, S., Jang, K. E., Jung, J., & Jang, J. (2009). NIRS_SPM: statistical parametric mapping for near-infrared spectroscopy. *NeuroImage, 44*(2), 428–447.

Xia, M., Wang, J., & He, Y. (2013). BrainNet Viewer: a network visualization tool for human brain connectomics. *PloS one*, *8*(7), e68910.

Xiao, H. R., Huang, Y. F., Gong, X. M., & Wang, D. H. (2015). Age alters the effects of emotional valence on false memory: using the simplified conjoint recognition paradigm. *Acta Psychologica Sinica*, *47*(1), 19–28.

[肖红蕊, 黄一帆, 龚先旻, 王大华. (2015). 简化的联合再认范式中情绪对错误记忆影响的年龄差异. *心理学报, 47*(1), 19–28.]

Xia, M., Li, X. L., Li, H., & Yang, K. (2015). The relationship between left frontal and approach motivation process. *Advances in Psychological Science*, *23*(5), 815–821.

[侠牧, 李雪榴, 李红, 杨柯. (2015). 左前额叶与趋近动机加工的关系. *心理科学进展, 23*(5), 815–821.]

Yang, M. X., & Zhang, J. K, (2019). The effects of image encoding on false memory created by word List. *Journal of Psychological Science*, *45*(5), 1033–1038.

[杨妹香, 张锦坤. (2019). 表象编码对基于词表的错误记忆的影响. *心理科学, 42*(5), 1033–1038.]

Zou, J. L., Zhang, X. C., Zhang, H., Yu, L., & Zhou, R. L. (2011). Beyond dichotomy of valence and arousal: review of the motivational dimensional model of affect. *Advances in Psychological Science*, *19*(9), 1339–1346.

[邹吉林, 张小聪, 张环, 于靓, 周仁来. (2011). 超越效价和唤醒度——情绪的动机维度模型评述. *心理科学进展*, *19*(9), 1339–1346.]

Zhang, J. Y. (2014). *The effect of different approach motivational intensity of positive emotions on working memory.* (Unpublished master’s thesis). East China Normal University.

[张建英.(2014). *不同动机趋近积极情绪对工作记忆的影响.* (硕士学位论文). 华东师范大学.]

Zhang, Z. X., Guo, X. Y., Li, L., & Zheng, L. (2017). A study on false memory and true memory in blind students. *Journal of Psychological Science*, *40*(4), 844–849.

[张增修, 郭秀艳, 李林, 郑丽. (2017). 盲生错误记忆和真实记忆研究. *心理科学, 40*(4), 844–849.]

Zhu, B., Chen, C., Shao, X., Liu, W., Ye, Z., Zhuang, L., Zheng, L., Loftus, E. F., & Xue, G. (2019). Multiple interactive memory representations underlie the induction of false memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(9), 3466–3475.

Zhang, Y. J. (2020). The influence of positive affect on the scope of mental rotation in high school students: the moderating role of approach motivation. *Journal of Psychological Science*, *43*(4), 850–856.

[张玉静. (2020). 积极情绪对高中生心理旋转范围的影响: 趋近动机的调节效应. *心理科学, 43*(4), 850–856.]

The Influence of Positive Emotion with Varying Intensities of Approach Motivation on False Memory and its Neural Mechanisms: A Study Based on Semantic-Related False Memory

ZHANG Huan[1,2,3]; QIN Xiquan[2]; LIU Yu[2]; LIN Lin[1,2,3]; WU Jie[1,2,3]

([1] Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China) ([2] Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China) ([3] Tianjin Social Science Laboratory of Students' Mental Development and Learning, Tianjin 300387, China)

Abstract Emotions can influence false memories, with previous studies showing that positive emotions particularly affect the formation of false memories related to semantic relevance. Most researchers agree that false memories are more likely under positive emotions. However, existing studies have focused mainly on valence and arousal dimensions, often neglecting the role of intrinsic motivation independent of arousal and valence. Consequently, research on how motivation influences false memory from an emotional perspective has been limited.

This study employed the expression-posture method to induce different levels of approach motivation in positive emotions. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) measured brain activity as participants were randomly exposed to high, medium, and low motivation conditions to avoid sequential effects. The dependent variables were: (1) the false memory rate of critical lures, calculated as the ratio of recalled critical lures to the total number; and (2) the relative variation in oxyhemoglobin (HbO) levels during the learning phase across different experimental conditions. The goal was to explore changes in oxygenated hemoglobin in the cerebral cortex and their effect on false memory related to semantic relevance, as participants encountered DRM vocabulary under different levels of positive emotion motivation.

Results showed that participants exhibited false memories under positive emotional motivation, with the highest false memory rate occurring in the high motivation condition. The false memory rate was significantly higher in the high and medium motivation conditions compared to the low motivation condition. Brain imaging revealed significant activation in the left frontal and temporal lobes across all conditions, with the greatest activation observed under high motivation. Correlation analysis showed that activation in the left inferior frontal gyrus and

temporal lobe was positively correlated with false memory rates under high motivation. In contrast, under low motivation, activation in the left inferior temporal gyrus was negatively correlated with false memory. Linear regression further highlighted the critical role of this region in generating false memories.

In summary, these findings suggest that positive emotions with varying levels of approach motivation differently influence false memory. The results offer valuable insights into the psychological and neural mechanisms underlying how positive emotions with different levels of motivation affect false memory, highlighting the importance of semantic relevance.

Keywords false memory, emotional motivation, positive emotions, semantic relevance, fNIRS

附录

附录 1

学习词表：

1. 黑夜 黑暗 墨汁 煤炭 乌鸦 葬礼 忧郁 颜色 死亡 沥青 深渊 烧焦 悲痛 白色 灰色。关键诱饵：黑色

2. 黄油 吐司 面粉 果酱 早餐 饼干 面团 火腿 奶油 牛奶 热狗 食物 燕麦 果冻 奶粉。关键诱饵：面包

3. 桌子 课桌 凳子 沙发 坐下 转椅 就座 坐垫 摇椅 座位 长凳 躺椅 家具 斜靠 靠垫。关键诱饵：椅子

4. 冬天 阴冷 寒风 颤抖 结冰 冰块 霜冻 下雪 冰雹 冰冻 暖气 天气 温暖 冷淡 北极。关键诱饵：寒冷

5. 医院 手术 护士 大夫 治疗 生病 患者 处方 药物 门诊 诊断 听诊 外科 感冒 健康。关键诱饵：医生

6. 鞋子 脚趾 跑步 步行 踢球 拖鞋 足球 脚踝 胳膊 靴子 袜子 膝盖 手掌 球场 嘴巴。关键诱饵：双脚

7. 苹果 橙子 蔬菜 桃子 柑橘 成熟 梨子 香蕉 草莓 樱桃 果篮 果汁 沙拉 果啤 果盘。关键诱饵：水果

8. 顶峰 陡峭 攀登 险峻 起伏 小山 丘陵 山谷 山岗 高峰 雄伟 山顶 壮观 山坡 滑雪。关键诱饵：山脉

9. 歌曲 乐曲 唱歌 旋律 钢琴 乐队 弹奏 舞蹈 乐谱 节奏 爵士 声音 吉他 鼓点 音符。关键诱饵：音乐

10. 枕头 轻柔 绒毛 棉花 蓬松 轻触 羽毛 柔和 坚硬 坚固 软毛 幼嫩 舒服 软弱 丝绒。关键诱饵：柔软

11. 车库 驾驶 公路 奔驰 轿车 修车 吉普 出租 货车 车辆 车厢 司机 卡车 火车 钥匙。关键诱饵：汽车

12. 国家 红色 旗帜 飘扬 尊严 敬礼 旗杆 国歌 五星 升起 升旗 中国 象征 国徽 广场。关键诱饵：红旗

13. 动物 老虎 笼子 咆哮 凶猛 吼叫 鬃毛 丛林 驯兽 非洲 幼仔 马戏 兽穴 狗熊 打猎。关键诱饵：狮子

14. 笔帽 墨水 笔尖 文具 水笔 笔袋 铅笔 勾画 纸张 书写 书法 毛笔 签字 练字 笔芯。关键诱饵：钢笔

15. 废物 摒弃 废品 堆积 废料 废弃 回收 清扫 破烂 肮脏 破旧 清洁 瓶子 碎片 凌乱。关键诱饵：垃圾

16. 大海 湖泊 游泳 溪流 水草 潮汐 小溪 桥梁 小船 黄河 长江 鱼虾 游艇 弯曲 流动。关键诱饵：河流

17. 犯困 休息 困倦 打鼾 打盹 床铺 做梦 呵欠 醒来 疲倦 假寐 瞌睡 美梦 劳累

叫醒。关键诱饵：睡觉

18. 快速 昏睡 停止 倦怠 迟钝 凝滞 耽误 塞车 乌龟 迟疑 加速 迅速 懒惰 谨慎 等待。关键诱饵：缓慢

19. 房门 玻璃 窗格 遮阳 壁架 窗台 房屋 打开 窗帘 框架 风景 微风 窗框 屏风 空气。关键诱饵：窗户

20. 水杯 茶托 茶叶 分量 杯垫 盖子 把手 咖啡 吸管 酒杯 牛奶 杯具 喝酒 冲泡 口渴。关键诱饵：杯子

21. 省会 市郊 繁华 郊区 北京 拥挤 都市 城镇 首都 街道 地铁 农村 上海 县城 发展。关键诱饵：城市

22. 女人 力量 父亲 刚强 妻子 健壮 胡须 肌肉 丈夫 绅士 雄性 伯父 西装 朋友 年老。关键诱饵：男人

23. 飞机 上面 建筑 天空 灯塔 悬崖 大楼 城堡 顶点 低的 矮的 举起 跳水 跳跃 白云。关键诱饵：高的

24. 酸味 糖果 糖块 苦味 甜蜜 味道 蜂蜜 苏打 奶油 蛋糕 牙齿 美好 蛋挞 心形 月饼。关键诱饵：甜味

25. 织网 昆虫 虫子 吐丝 苍蝇 毒液 抓取 捉住 狼蛛 咬住 爬行 动物 房檐 触须 附着。关键诱饵：蜘蛛

26. 盗窃 强盗 欺骗 窃贼 金钱 警察 逃跑 抢劫 入狱 判刑 坏人 罪犯 犯罪 跟踪 土匪。关键诱饵：小偷

27. 弹性 弹力 手套 轮胎 篮球 橡皮 弹性 泡沫 胶鞋 鞋底 乳胶 胶水 柔韧 回弹 伸展。关键诱饵：橡胶

28. 上衣 袖子 裤子 领带 纽扣 短裤 熨斗 保罗 衣领 白领 袖口 口袋 背心 腰带 亚麻。关键诱饵：衬衫

29. 鼻子 呼吸 闻味 芳香 听觉 视觉 鼻孔 轻吹 气味 烟雾 恶臭 香味 香水 盐分 玫瑰。关键诱饵：嗅觉

30. 海军 军人 国家 步枪 弹药 空军 征募 陆军 行军 步兵 上尉 战争 军装 军旗 战斗。关键诱饵：军队

无关词表：

希望 梦想 太阳 孩子 胜利 拥抱 奖品 活力 强壮 元旦

耳机 清爽 摄影 单纯 雨伞 劳动 谦和 篮球 火星 学校

楼层 活力 视野 船桥 阿姨 走廊 眼睛 期望 大脑 反应

成功 库房 身体 疾病 比赛 运动 财富 视力 绿色 钟楼

侄女 舞蹈 可爱 约会 裙子 眼神 目光 房舍 修筑 庆祝

努力 生命 锻炼 荣誉 前途 几何 头发 约会 阁楼 镜片

附录 2

表 S1 通道位置对应 MNI 坐标与布鲁德曼分区

通道	MNI 坐标			BA 分区及脑区重合度
	X	Y	Z	
1	-19	64	28	10, Frontopolar area, 0.69
2	-42	52	24	46, Dorsolateral prefrontal cortex,0.73
3	-55	33	16	45, pars triangularis Broca's area,1
4	-65	1	-10	48, Retrosubicular area, 0.47
5	-71	-27	-7	21, Middle Temporal gyrus, 0.95
6	-66	-50	-17	20, Inferior Temporal gyrus, 0.46
7	-4	60	39	9, Dorsolateral prefrontal cortex, 0.70
8	-26	52	37	9, Dorsolateral prefrontal cortex, 0.1
9	-48	36	32	45, pars triangularis Broca's area,0.85
10	-64	6	22	6, Pre-Motor and Supplementary Motor Cortex,0.60
11	-69	-20	9	22, Middle-Superior Temporal Gyrus, 1
12	-70	-43	-2	21, Middle Temporal gyrus, 0.43
13	-62	-62	-12	37, Fusiform gyrus, 1
14	-32	47	51	9, Dorsolateral prefrontal cortex, 0.86
15	-32	37	47	9, Dorsolateral prefrontal cortex, 0.92
16	-50	37	45	44, pars opercularis, part of Broca's area, 0.48
17	-66	-9	34	43, Subcentral area, 0.66
18	-69	-36	20	22, Superior Temporal Gyrus, 0.61
19	-64	-61	3	37, Fusiform gyrus, 0.95
20	-3	42	54	8, Includes Frontal eye fields, 0.65
21	-23	34	57	8, Includes Frontal eye fields, 0.75

22	-44	17	55	9, Dorsolateral prefrontal cortex, 0.75
23	-60	-12	46	3, Primary Somatosensory Cortex, 0.37
24	-67	-39	35	40, Supramarginal gyrus part of Wernicke's area, 0.63
25	-60	-67	14	37, Fusiform gyrus, 0.58
26	-54	-74	27	39, Angular gyrus, part of Wernicke's area, 0.88
27	-16	22	67	8, Includes Frontal eye fields, 0.71
28	-39	18	59	9, Dorsolateral prefrontal cortex, 0.50
29	-58	-22	54	1、3, Primary Somatosensory Cortex, 0.78
30	-64	-41	44	40, Supramarginal gyrus part of Wernicke's area, 1
31	-58	-70	23	39, Angular gyrus, part of Wernicke's area, 0.85
32	-46	-89	6	19, V3, 0.67
33	-55	-62	45	39, Angular gyrus, part of Wernicke's area, 0.80
34	-51	-77	30	39, Angular gyrus, part of Wernicke's area, 0.87
35	-41	-91	17	19, V3, 0.77
36	-51	-64	51	39, Angular gyrus, part of Wernicke's area, 0.80
37	-41	-85	33	19, V3, 0.86

(注：每条通道可能覆盖多个脑区，此处列出与近红外通道重合最大的脑区。)